

dr hab. inż. Zbigniew Lewandowski, prof. ATH
Instytut Inżynierii Tekstyliów i Materiałów Polimerowych
Akademia Techniczno – Humanistyczna w Bielsku – Białej.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Ewy Ołdak p.t. „Efekty masy cząsteczkowej w modelowaniu procesów formowania włókien ze stopów polimerów”

Podstawowym celem rozprawy było zbudowanie (stworzenie) matematycznego modelu formowania włókien ze stopionego polimeru ze szczególnym uwzględnieniem znaczenia masy cząsteczkowej w tym procesie. Model matematyczny został stworzony na podstawie praw zachowania masy, pędu i energii, konstytutywnych równań reologicznych, a także równań opisujących kinetykę krystalizacji orientowanej. Model opracowano na przykładzie włókien z poli (tereftalanu etylenowego) PET, który jest powszechnie stosowanym włóknem syntetycznym. Wybór PET wynika również z tego, że polimer ten krystalizuje z różną prędkością w zależności od szybkości formowania włókien.

Modelowanie matematyczne oparte jest na szeregu założeniach dotyczących właściwości polimeru i procesu formowania włókien.

Porównanie wyników obliczeń komputerowych z danymi doświadczalnymi umożliwia ocenę poprawności przyjętych procedur modelowania z punktu widzenia zgodności wyników badań modelowych z procesami rzeczywistymi.

Badania nad matematycznym modelowaniem procesu formowania włókien zostały oparte na następujących założeniach:

- Stacjonarność procesu, w sensie ustalonych w czasie osiowych profili prędkości i temperatury, prowadząca do otrzymania jednorodnych włókien o niezmiennych właściwościach użytkowych. Warunkiem stacjonarności procesu jest stabilność

temperatury i prędkości podawania polimeru, szybkości i temperatury powietrza chłodzącego strugę polimeru oraz prędkości odbioru włókien.

- Założenie cienkiej strugi dopuszczające pominięcie radialnego zróżnicowania temperatury i szybkości strugi polimeru i redukujące model matematyczny do zagadnienia jednowymiarowego z odległością osiową od dyszy przedziałniczej jako jedyną zmienną niezależną. Upraszczające założenie cienkiej, pojedynczej strugi jest stosowane w modelowaniu komputerowym i pracach doświadczalnych. W przemysłowym modelu komputerowym oddziaływanie aerodynamiczne i termiczne w wiązce włókien powinny być uwzględnione. Ponadto to uproszczenie ma fizyczne uzasadnienie w przypadku włókien o standardowej masie liniowej (kilka dtex), włókna grubsze mają jednak zróżnicowaną strukturę poprzeczną wynikającą z niejednorodnego radialnego rozkładu temperatury i prędkości. Na rys. 18 na stronie 59 przedstawiającym schemat formowania włókna ze stopionego polimeru występuje rozszerzenie strugi spowodowane relaksacją naprężeń ścinających. W istocie takie zjawisko pojawia się przy grawitacyjnym formowaniu włókien, ale niewystępuje ono w warunkach oddziaływania zewnętrznej siły rozciągającej na strugę polimeru. Ma to pewne znaczenie, ponieważ w obliczeniach modelowych przyjęto, że początkowa średnica strugi jest równa średnicy otworka dyszy przedziałniczej.
- Właściwości reologiczne polimeru opisano za pomocą modelu newtonowskiego lepkiej cieczy z lepkością zależną wyłącznie od temperatury. Autorka, powołując się na publikację, przyjęła, że nieliniowe efekty wynikające z zależności lepkości od szybkości rozciągania mogą być pominięte jako niewielkie w stosunku do wzrostu lepkości wynikającego z krystalizacji i obniżenia temperatury. Wydaje się jednak, że lepkość podłużna zwiększająca się ze wzrostem gradientu prędkości, jest jednym z warunków

ciągłości strugi i parametr ten powinien być uwzględniony w pracach nad doskonaleniem matematycznego modelu formowania włókien.

Na podstawie przyjętych założeń autorka przeprowadziła obliczenia modelowe polegające na rozwiązaniu układu równań stacjonarnego procesu przedzenia włókien z uwzględnieniem wpływu średniej masy cząsteczkowej PET na prędkość odbioru włókien, zakres szybkości przedzenia osiowe profile charakteryzujące kinetykę i dynamikę przedzenia oraz orientację amorficzna i stopień krystaliczności otrzymywanych włókien. Opracowany do tego celu stacjonarny model przedzenia jest modelem jednowymiarowym ze współrzędną osiową „z” jako jedyną zmienną niezależną.

Obliczenia przeprowadzono na przykładzie PET w szerokim zakresie lepkości istotnej od 0,4 dl/g do 4,5 dl/g. Układ równań modelu wyznacza osiowe profile prędkości, temperatury, stopnia krystaliczności i orientacji amorficznej wzdłuż osi formowanej w całym zakresie szybkości przedzenia. Równania oparto na danych literaturowych i doświadczalnych (149 pozycji literaturowych). Układ równań rozwiązano z wykorzystaniem znanych procedur matematycznych. Obliczenie przeprowadzono z założeniem stałej masy liniowej włókien (5 dtex) z wydatkiem masy proporcjonalnym do prędkości odbioru oraz dla procesów ze stałym wydatkiem masy $w = 0,04$ g/s. Wyniki obliczeń przedstawione są na 27 wykresach (rys.25 ÷ 51).

Najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych obliczeń modelowych:

1. Górna granica szybkości przedzenia rośnie z obniżaniem masy cząsteczkowej polimeru w obu typach procesów, ze stałym wydatkiem masy i ze stałą masą liniową odbieranych włókien. Otrzymanie włókien o niskiej masie cząsteczkowej (do 0,1 dtex) możliwe jest w przypadku polimeru o masie liniowej M_n poniżej 20.000.

2. Krystalizacja orientowana powoduje obniżenie maksymalnej szybkości przędzenia włókien.
3. Lepkościowo średnia masa cząsteczkowa ($M\eta$) wyraźnie wpływa na kinetykę krystalizacji orientowanej oraz osiowe profile naprężenia rozciągającego.
4. Orientacja amorficznych obszarów włókien związaną z ich właściwościami mechanicznymi, wzrasta w procesach szybkiego przędzenia.
5. Z jakościowej zgodności wyników obliczeń numerycznych z obserwacjami doświadczalnymi wynika, że zbudowany model matematyczny właściwie i szeroko charakteryzuje różne aspekty złożonego procesu formowania włókien z poli(tereftalany etylenowego). Masa cząsteczkowa polimeru wywiera znaczący wpływ na kinematykę i dynamikę procesu i strukturę oraz właściwości otrzymywanych włókien. Model może być z powodzeniem zaadoptowany do opisu innych procesów ze strefą grzejącą, lub silnym obniżeniem temperatury w strefie formowania włókien. Ten ostatni proces wydaje się szczególnie interesującym obiektem badań ze względu na nieznanne dotychczas zjawiska z dziedziny formowania włókien i możliwości modyfikacji modelu na budowanej właśnie instalacji doświadczalnej.

Cel badań sformułowany na str. 56 i 57 rozprawy został osiągnięty.

W trakcie lektury pracy zauważono niewielkie błędy redakcyjne, terminologiczne i kontrowersyjne sformułowania, które nie umniejszają ogólnej, bardzo pozytywnej oceny pracy.

Uwagi szczegółowe

str. 4, ostatnie zdanie – jest stały stan fazy krystalicznej wzdłuż osi prządzenia, obserwowany doświadczenie Przez fazy należy rozumieć wyrażanie wydzieloną część układu oddzielonego wyraźną powierzchnia rozdziału. Powinno być obszary lub agregaty krystaliczne. Doświadczalnie a nie doświadczanie.

str. 7, ostatnie zdanie – jest najmniej zbadanego czynnika wpływającego na dynamikę procesu Dynamika (analiza sił biorących udział w przepływie i deformacji) jest jednym z aspektów mechaniki prządzenia, drugim jest kinematyka (badanie rozkładu prędkości w strudze polimeru).

Ta uwaga dotyczy również dalszych części pracy.

str. 13, rys.3 – Berkowitza, a nie Berkowita

str. 17¹⁰ – równanie WLF, powinno być równanie Williamsa – Landela – Ferry'ego (WLF)

str. 17₃ – co to jest „średnia wagowa ilość atomów” ?

str. 19₅ – jest w równaniu (28), powinno być w równaniu (27)

str. 26_{10, 8, 7} – należy rozróżnić dwa pojęcia „wyciąganie” i „rozciąganie”. Wyciąganie to obszar deformacji pomiędzy dyszą prządzalniczą a pierwszym organem odbiorczym, rozciąganie to deformacja pomiędzy dwoma organami o różnej prędkości liniowej.

str. 27₄ – ciśnienie powinno być podane w paskalach a nie atmosferach.

str. 44 tab. 13, w jakich jednostkach wyrażona jest siła napinająca włókno – jest w „g” ?

str. 63₆ – jest „włókien metali” powinno być włókien z metali, lub włókien metalicznych.

str. 82₃ – dwukrotnie użyto słowo „zachowania”

str. 92₉ – w zdaniu brakuje orzeczenia

str. 107¹⁴ – jest „grubości masowej włókna”, powinno być „masie liniowej włókna”

Rozdział 2.1.1. zatytułowano „Charakterystyki masy cząsteczkowej”. W pierwszym zdaniu tego rozdziału napisano, że powszechnie stosowane w charakteryzowaniu polimerów są średni liczbowy ciężar cząsteczkowy oraz średni wagowy ciężar cząsteczkowy.

W dalszej części pracy używa się już prawie wyłącznie terminu „masa cząsteczkowa”. Komisja Nomenklatury Molekularnej IUPAC zaleca stosowanie określenia „ciężar cząsteczkowy” lub „względna masa cząsteczkowa”, natomiast często stosowane w literaturze określenie „masa cząsteczkowa” uznaje się za nieprawidłowe. Masa cząsteczkowa jest skalarem, natomiast ciężar cząsteczkowy jest wektorem zależnym od przyspieszenia ziemskiego. Zgodnie z zaleceniami układu SI używany jest termin „masa cząsteczkowa” a jednostka masy cząsteczkowej jest: kg/mol lub g/mol. Wynika z tego, że prawidłowym terminem jest „masa cząsteczkowa polimeru” i odpowiednio „liczbowo średnia masa cząsteczkowa” i „wagowo średnia masa cząsteczkowa”, a nie średni liczbowo i średni wagowo ciężar cząsteczkowy (number - average i weight - average) stosowany w recenzowanej pracy do wyrażenia rozkładu mas cząsteczkowych. Źródłem moich uwag na ten temat jest list Włochowicza i Przygockiego, który wkrótce zostanie opublikowany w czasopiśmie „Polimery”.

Wniosek

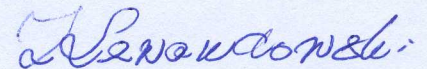
Mgr inż. Ewa Ołdak wykazała się:

- znajomością procesu formowania włókien ze stopionych polimerów*
- umiejętnością krytycznej oceny wiedzy*
- umiejętnością zastosowania matematyki do opisu zjawisk fizycznych*

Wytyczony cel pracy został osiągnięty. Praca jest zgodna z przepisami ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (ustawa z dnia 14 marca 2003, Dziennik Ustaw z dnia 16 kwietnia 2003.)

Za szczególną zaletę pracy uważam to, że autorka stosując model matematyczny wszechstronnie przeanalizowała wpływ masy cząsteczkowej, istotnej cechy materiałowej polimerów, na proces formowania włókien ze stopionych polimerów.

Kieruje więc wniosek do Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie mgr inż. Ewy Ołdak do publicznej obrony oraz wnoszę o uznanie pracy jako wyróżniającej się.



Zbigniew Lewandowski

12 lipiec 2005